



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01V 1/008 (2021.08); G01V 11/00 (2021.08); G01V 3/12 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2020138668, 26.11.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.11.2020

Дата регистрации:
29.10.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.11.2020

(45) Опубликовано: 29.10.2021 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

684034, Камчатский край, Елизовский р-н,
с.Паратунка, ул. Мирная, 7, ФГБУН ИКИР
ДВО РАН, Солодчук А.А.

(72) Автор(ы):

Сенкевич Юрий Игоревич (RU),
Марапулец Юрий Валентинович (RU),
Луковенкова Ольга Олеговна (RU),
Солодчук Александра Андреевна (RU),
Мищенко Михаил Александрович (RU),
Малкин Евгений Ильич (RU),
Гапеев Максим Игоревич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт
космофизических исследований и
распространения радиоволн
Дальневосточного отделения Российской
академии наук (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Г.И.Дружин и др. Одновременные
наблюдения сигналов акустической эмиссии
и электромагнитных полей / Сб. трудов XXV
Всероссийской открытой научной
конференции "Распространение радиоволн",
г. Томск: Изд-во Томского государственного
университета систем управления и
радиоэлектроники, 2016, стр.187-190. SU
1670651 A1, 15.08.1991. RU 2563338 C2, (см.
прод.)

(54) Способ обнаружения комплексного предвестника землетрясений

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сейсмологии и может быть использовано для обнаружения краткосрочного предвестника землетрясений. Сущность: у дна водоема устанавливают пьезокерамический гидрофон, а на берегу водоема вблизи гидрофона - многоканальный ОНЧ-регистратор. Непрерывно регистрируют сигналы в диапазоне 0,0001-10 кГц посредством гидрофона и в диапазоне 0,3-10 кГц посредством ОНЧ-регистратора. Выявляют аномалии,

проявляющиеся в обоих диапазонах как увеличение отношения более чем в 4 раза количества импульсов с малым числом локальных экстремумов к количеству импульсов с большим числом локальных экстремумов за время наблюдения от одного до нескольких часов. Технический результат: повышение достоверности обнаружения возможного землетрясения. 2 ил.

R U 2 7 5 8 5 8 2 C 1

R U 2 7 5 8 5 8 2 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

G01V 11/00 (2006.01)*G01V 1/00* (2006.01)*G01V 3/12* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01V 1/008 (2021.08); *G01V 11/00* (2021.08); *G01V 3/12* (2021.08)(21)(22) Application: **2020138668, 26.11.2020**(24) Effective date for property rights:
26.11.2020Registration date:
29.10.2021

Priority:

(22) Date of filing: **26.11.2020**(45) Date of publication: **29.10.2021 Bull. № 31**

Mail address:

**684034, Kamchatskij kraj, Elizovskij r-n,
s.Paratunka, ul. Mirnaya, 7, FGBUN IKIR DVO
RAN, Solodchuk A.A.**

(72) Inventor(s):

**Senkevich Yury Igorevich (RU),
Marapulets Yury Valentinovich (RU),
Lukovenkova Olga Olegovna (RU),
Solodchuk Aleksandra Andreevna (RU),
Mishchenko Mikhail Aleksandrovich (RU),
Malkin Evgenii Ilich (RU),
Gapeev Maksim Igorevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
uchrezhdenie nauki Institut kosmofizicheskikh
issledovanii i rasprostraneniia radiovoln
Dalnevostochnogo otdeleniia Rossiiskoi
akademii nauk (RU)**(54) **METHOD FOR DETECTING A COMPLEX EARTHQUAKE PRECURSOR**

(57) Abstract:

FIELD: seismology.

SUBSTANCE: invention relates to the field of seismology and can be used to detect a short-term earthquakes precursor. Substance: a piezoceramic hydrophone is installed at the bottom of a body of water, and a multi-channel VLF recorder is installed on the shore of the body of water near the hydrophone. Signals in the range of 0.0001 to 10 kHz are continuously recorded by means of the hydrophone and in the range of 0.3 to 10 kHz - by means of the VLF recorder.

Anomalies are detected, manifesting in both ranges as an increase in more than 4 times in the ratio of the amount of pulses with a low number of local extrema to the number of pulses with a large number of local extrema within an observation period from one to several hours.

EFFECT: increased reliability of detection of a possible earthquake.

1 cl, 2 dwg

Изобретение относится к области геофизики, в частности к обработке и моделированию геофизических сигналов, и может быть использовано для краткосрочного прогноза землетрясений по результатам комплексной обработки цифровых сигналов высокочастотной геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в ОНЧ диапазоне, регистрируемых в сейсмоактивных зонах.

Известен «Способ контроля напряженного состояния земной коры для прогноза сильных землетрясений» (RU, патент № 2105332, МПК G01V9/00, 1998 г.). Изобретение основано на явлении модуляции высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ) Земли длиннопериодными деформирующими процессами. Данный способ заключается в проведении режимных наблюдений за ВСШ, выделении компонент, связанных с земными приливами. По изменениям фазы выделенных компонент судят о напряженном состоянии земной коры и подготовке землетрясения, его силе и прогнозируют вероятность его реализации. Ограничением данного способа является использование только инфразвуковых компонент сигнала, связанных с земными приливами.

Известен «Способ прогноза землетрясений» (RU, патент № 2238575, МПК G01V9/00, 2002 г.). Изобретение основано на синхронных измерениях интенсивности естественных импульсных электромагнитных полей Земли (ЕИЭМПЗ). Данный способ заключается в установке измерительной аппаратуры в нескольких пунктах контролируемого региона, выделение аномальной территории по наличию скачкообразного изменения интенсивности ЕИЭМПЗ по сравнению с суточными вариациями ЕИЭМПЗ полей, измеренных накануне или в предыдущие годы в эти же календарные дни, в относительно сейсмически спокойные периоды. Далее осуществляется отождествление положения эпицентра прогнозируемого землетрясения с координатами точки, расположенной в центральной части аномальной территории и характеризующейся наиболее сильными и наступившими раньше, чем в других точках изменениями интенсивности ЕИЭМПЗ. Начало землетрясения прогнозируется через 10-15 суток после начала регистрации скачкообразного изменения интенсивности ЕИЭМПЗ.

Ограничением данного способа является возможное возникновение ложных изменений интенсивности ЕИЭМПЗ, не связанных с подготовкой землетрясений, и, соответственно, выработки ложного прогноза.

Известен «Способ определения времени предстоящего землетрясения» (RU, патент № 2258246, МПК G01V9/00, 2004 г.), при котором осуществляют интерпретацию статистической закономерности возникновения сейсмических колебаний почвы в определенные для данного региона сроки. Данный способ заключается в установке сейсмодатчиков и датчиков акустической эмиссии, регистрации и измерении импульсов, пакетов сейсмических волн и акустических волн во всем диапазоне частот появления предвестников, оценке амплитуды форшоков, а также интервалов времени между ними. По времени их появления судят о времени предстоящего землетрясения. Ограничением данного способа является слабая чувствительность пьезокерамических виброметров, предназначенных для регистрации акустической эмиссии и, соответственно, слабая надежность метода в случае регистрации слабых предвестниковых аномалий.

Известен «Способ краткосрочного прогноза времени землетрясений по акустическим предвестникам» (RU, патент № 2356071, МПК G01V9/00, 2007 г.). Данный способ заключается в установке одно и/или трехкомпонентных приемников акустической эмиссии в массиве горных пород, окружающем сейсмически опасную зону и имеющем собственные частоты акустической эмиссии, совпадающие с частотами акустической эмиссии предвестников землетрясений, регистрации полезных сигналов, вычислении

спектров акустической эмиссии $S(f)$. По превышению $S(f)$ на заданной частоте f_0 или интервале низких частот заданной величины судят о приходе аномального акустического сигнала-предвестника, опережающего землетрясение на время от нескольких суток до десятков минут. Недостатками данного способа являются необходимость установки

приемников в массиве горных пород, окружающем сейсмически опасную зону, и, соответственно, сложность в такой установки при достаточно больших размерах этой зоны.

Известен «Способ определения приближения сейсмического события» (RU, патент № 2572465, МПК G01V 1/00, 2006 г.). Способ предусматривает проведение мониторинга низкочастотных микросейсмических колебаний, регистрируемых сейсмическими станциями в пределах локального участка литосферы сейсмоактивной зоны. Выполняется спектрально-временной анализ регистрируемых низкочастотных микросейсмических колебаний, рассчитывается коэффициент множественной регрессии. По понижению коэффициента множественной регрессии и снижению уровня регистрируемого сигнала в спектральном окне 25-40 Гц делают вывод о приближении сейсмического удара. Недостатком способа является применение к микросейсмическому сигналу спектрального анализа и множественной регрессии, что в условиях нестационарности таких сигналов приводит к возникновению ошибок первого и второго рода при проверке статистических гипотез о возможности наступления сейсмического события.

Известна «Система измерений предвестника землетрясений» (RU, патент № 2383039, МПК G01V9/00, 2008 г.), которая состоит из средств наблюдения и отслеживания электроразрядных процессов «сухих» гроз в атмосфере. В системе реализован режим измерений атмосфериков «сухих» гроз, исключаящий фоновый уровень теплового излучения Земли в измерительном канале наземных средств, включающих грозопеленгатор - дальномер с круговой диаграммой направленности антенны по пеленгу и радиометр ближнего ИК-диапазона, сканирующий объем атмосферика по его пеленгу на интервале времени существования атмосферика. Главным достоинством данной системы является учет фонового уровня теплового излучения Земли в измерительном канале. Ограничением данного способа является отсутствие защиты от помех не связанных с тепловым излучением Земли при регистрации атмосфериков «сухих» гроз.

Наиболее близким к заявляемому изобретению является «Способ обнаружения высокочастотных геоакустических предвестников землетрясения» (RU, патент № 2563338 МПК G01V 1/38, 2015 г.) Данный способ заключается в том, что для выявления активизации региональных деформационных процессов, которая вызвана подготовкой сильных землетрясений, используется система регистрации геоакустической эмиссии в диапазоне частот от 0.1 Гц до 20 кГц, установленная у дна естественных и искусственных водоемов. Способ обнаружения предвестников основан на аномальном повышении уровня геоакустических шумов в диапазоне от сотен герц до десятков килогерц в интервале от нескольких суток до нескольких часов перед сильными землетрясениями. Данный эффект обусловлен активизацией деформационных процессов на расстояниях до нескольких сотен километров от эпицентров при подготовке сильных землетрясений. Недостатком данного способа является чувствительность к повышению уровня геоакустических шумов, не связанному с процессами подготовки землетрясений, например, вызванному влиянием погодных факторов (интенсивных осадков, сильного ветра), антропогенных шумов и др.

Все представленные патенты предполагают использование только одного

геофизического параметра с целью прогноза землетрясений - это либо сигналы акустического излучения, либо электромагнитного. Предлагаемый способ обнаружения предвестников предлагает комплексный подход и лишен недостатков представленных выше патентов.

5 Сущность изобретения

Изобретение относится к области геофизики и может использоваться для определения краткосрочных предвестников землетрясений по результатам комплексной обработки цифровых сигналов высокочастотной геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в ОНЧ-диапазоне, регистрируемых в сейсмоактивных зонах. Обработываемые
10 сигналы геоакустической эмиссии регистрируются в диапазоне частот от 0.1 Гц до 10 кГц приемником акустического давления, установленным на глубине 1-3 м у дна естественных и искусственных водоемов. Сигналы электромагнитного излучения регистрируются в диапазоне частот от 300 Гц до 10 кГц с помощью многоканального ОНЧ-регистратора, состоящего из двух рамочных и одной вертикальной штыревой
15 антенн.

Заявляемый способ комплексного краткосрочного прогноза землетрясений основан на комплексном анализе двух эффектов.

1. Изменения форм импульсов, входящих в состав геоакустических сигналов, на временном интервале от нескольких суток до нескольких часов перед сильными
20 землетрясениями. Данный эффект был экспериментально обнаружен на Камчатке (Аномалия высокочастотных сигналов геоакустической эмиссии как оперативный предвестник землетрясения / Гордиенко В.А., Гордиенко Т.В., Краснописцев Н.В. [и др.] // Акустический журнал. 2008. Т. 54. № 1. С. 97-109). Он обусловлен активизацией деформационных процессов на расстояниях до нескольких сотен километров от
25 эпицентров при подготовке сильных землетрясений и подтверждается результатами математического моделирования (Водинчар Г.М., Пережогин А.С., Сагитова Р.Н., Шевцов Б.М. Моделирование зон геоакустической эмиссии // Математическое моделирование. 2007. Т. 19. № 11. С. 59-63). Наличие изменений частотно-временной структуры импульсов геоакустической эмиссии было подтверждено в ходе серии
30 экспериментов (Марапулец Ю.В., Тристанов А.Б., Шевцов Б.М. Частотно-временной анализ акустической эмиссии звукового диапазона методом разреженной аппроксимации // Доклады АН. 2014. Т. 456. № 4. С. 481-484. DOI: 10.7868/S0869565214160257; Using a sparse model to evaluate the internal structure of impulse signals/ Tristanov A.B., Lukovenkova O.O., Marapulets Yu.V. [et al.]/ 2018 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA), 19-21 Sept. 2018, Poznan, Poland. IEEE.).
35

2. Изменения форм импульсов, входящих в состав электромагнитных сигналов, на временном интервале от нескольких суток до нескольких часов перед сильными землетрясениями. Данный эффект был экспериментально обнаружен на Камчатке (Дружин Г. И. Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за
40 электромагнитным ОНЧ излучением // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 51-62). Он проявляется как нарушение суточного хода ОНЧ излучения, выраженного в виде смещения минимумов и максимумов на нехарактерные временные интервалы, а также увеличения дисперсии амплитуд относительно огибающей (Ларионов И. А., Малкин Е. И., Марапулец Ю.В., Мищенко М. А., Солодчук А. А. Макет
45 автоматизированного аппаратно-программного комплекса для оперативного мониторинга, идентификации и анализа геофизических сигналов // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018. № 4(24). С. 213-225).

В работе (Дружин Г. И., Марапулец Ю. В., Чернева Н. В., Исаев А. Ю., Солодчук

А. А. Акустические и электромагнитные излучения перед землетрясением на Камчатке // Доклады академии наук. 2017. Т. 472. № 5. С. 584-589) впервые было показано, что аномальные излучения перед сильными землетрясениями возникают совместно в геоакустическом и электромагнитном полях, поэтому комплексный подход при анализе

данных сигналов должен повысить достоверность прогноза сейсмических событий. Способ комплексного краткосрочного прогноза землетрясений реализуется следующим образом. В сейсмоактивной зоне на глубине до 3 м у дна естественного или искусственного водоема устанавливается пьезокерамический гидрофон. Одновременно возле гидрофона на берегу водоема устанавливается многоканальный ОНЧ регистратор, позволяющего принимать слабые шумовые сигналы. Осуществляется непрерывная регистрация сигналов и их фильтрация в диапазоне 0.0001 - 10 кГц, 0.3 - 10 кГц, соответственно. Выделяются импульсы, входящие в состав геоакустического и электромагнитного сигналов. Частотно-временная структура каждого импульса описывается квадратной бинарной матрицей D , элементы которой определяются сравнением амплитуд локальных экстремумов и временных интервалов между локальными экстремумами по правилу

$$r_{i,j} = \begin{cases} 1, & a_i > a_j \\ 0, & a_i \leq a_j \end{cases}, \quad \omega_{i,j} = \begin{cases} 1, & \tau_i > \tau_j \\ 0, & \tau_i \leq \tau_j \end{cases},$$

$$D = \begin{pmatrix} r_{0,1} & r_{0,2} & L & r_{0,N-1} & r_{0,N} \\ \omega_{0,1} & r_{1,2} & L & r_{1,N-1} & r_{1,N} \\ \omega_{0,2} & \omega_{1,2} & L & r_{2,N-1} & r_{2,N} \\ M & M & O & M & M \\ \omega_{0,N-2} & \omega_{1,N-2} & L & r_{N-2,N-1} & r_{N-2,N} \\ \omega_{0,N-1} & \omega_{1,N-1} & L & \omega_{N-2,N-1} & r_{N-1,N} \end{pmatrix}.$$

На рисунке 1 представлен пример импульсного сигнала с отмеченными локальными экстремумами и временными интервалами между локальными экстремумами. Бинарные матрицы отношений хранят информацию об амплитудно-фазовой структуре импульсов. На рисунке 2 представлены график импульсного сигнала и описывающая его бинарная матрица.

Для оценки разнообразия импульсов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения на последовательных временных интервалах одинаковой длительности T (может принимать значения от одного часа до нескольких часов) осуществляется классификация импульсов по степени сходства их бинарных матриц. Центроид каждого класса характеризуется значением порядка бинарной матрицы (на единицу меньше числа локальных экстремумов импульса) и количеством импульсов в классе.

Ранжированные по значениям порядка центроида составляют определенное множество A , характеризующее разнообразие форм импульсов в сигнале, полученное на заданном интервале наблюдения T . Число выделенных классов определяет размерность множества A ($d = |A|$).

Для обнаружения аномалий в сигналах геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения выполняется сравнение размерности текущего множества d_i с размерностью ранее выделенного множества d_{i-j} (j выбирается исследователем)

$$\delta_{i,j} = \frac{|d_{i-j}|}{|d_i|}.$$

Одновременно для каждого нового множества A_i вычисляется отношение Λ частот классов, описываемых бинарными матрицами малых и больших порядков. Для этого ранжированное множество A делится на два равных по количеству элементов не пересекающихся подмножества A_l и A_h .

$$\Lambda_i = \frac{\sum_{k \in A_l} p_k}{\sum_{k \in A_h} p_k},$$

где $A_l \cup A_h = A_i$, $A_l \cap A_h = \emptyset$, $|A_l| = |A_h| = 0.5|A_i|$, p_k - количество импульсов, выделенных на временном интервале T и принадлежащих классу k . Λ_i сравнивается с аналогичными показателями ранее выделенных множеств Λ_{i-j}

$$\eta_{i,j} = \frac{\Lambda_{i-j}}{\Lambda_i}.$$

Комплексным предвестником землетрясений считается аномалия сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения, проявляющаяся в увеличении отношения более чем в 4 раза ($\eta < 0.25$) количества импульсов с малым числом локальных экстремумов к количеству импульсов с большим числом локальных экстремумов за время наблюдения от одного часа до нескольких часов.

Осуществимость предлагаемого способа обнаружения предвестников подтверждается возможностью одновременной регистрации сигналов геоакустической эмиссии, с помощью расположенного у дна водоема приемника акустического давления, и электромагнитного излучения, с помощью многоканального ОНЧ регистратора, установленного возле гидрофона на берегу водоема. Предобработка зарегистрированных сигналов включает стандартные операции полосовой фильтрации и выделения импульсов. Все дальнейшие вычисления могут быть реализованы на электронных вычислительных устройствах с использованием авторских программных алгоритмов.

Технический результат: повышение достоверности прогноза землетрясения. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-11-00087).

(57) Формула изобретения

Способ обнаружения комплексного предвестника землетрясений, включающий установку пьезокерамического гидрофона у дна водоема, многоканального ОНЧ-регистратора на берегу водоема вблизи гидрофона, непрерывную регистрацию сигналов в диапазоне 0.0001 – 10 кГц, 0.3 – 10 кГц соответственно и выявление аномалий, проявляющихся в обоих геофизических сигналах как увеличение отношения более чем в 4 раза количества импульсов с малым числом локальных экстремумов к количеству импульсов с большим числом локальных экстремумов за время наблюдения от одного до нескольких часов.

1

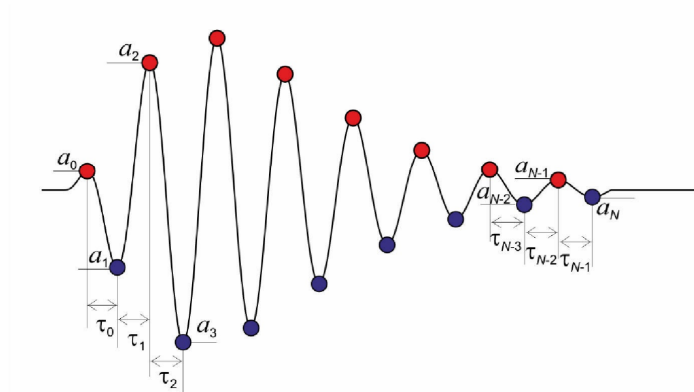


Рисунок 1. График импульсного сигнала с отмеченными локальными экстремумами: a_i — значения амплитуд, τ_i — значения временных интервалов между экстремумами

2

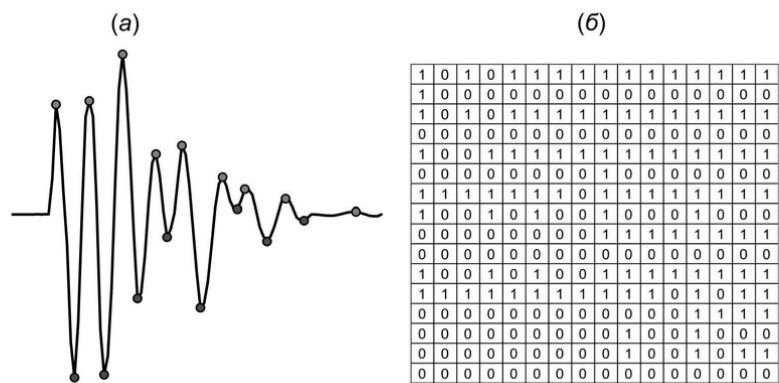


Рисунок 2. Импульс сигнала: (а) – график сигнала, (б)–описывающая импульс бинарная матрица отношений